

低碳经济与电力市场丛书

面向低碳经济的电力调度交易 理论与应用

尚金成 刘敦楠 史连军 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

Electric Power Dispatching & Exchange Towards
Low-carbon Economy: Theory and Applications

低碳经济与电力市场丛书

面向低碳经济的电力调度交易 理论与应用

尚金成 刘敦楠 史连军 著
庞 博 郑瑞晨 何 洋

著

Electric Power Dispatching & Exchange Towards
Low-carbon Economy: Theory and Applications



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书对面向低碳经济的电力调度交易理论进行了较为系统的深入研究。全书共分五篇 31 章。对低碳化电力调度交易（包括低碳化节能减排调度交易和低碳化综合能效调度交易）理论的整体架构、各类低碳化电力调度交易机制与模型、低碳化节能发电调度“多维时空型”优化协调理论、低碳化节能发电调度体系和关键技术、电力工业低碳化节能减排的最优战略、低碳化节能减排的多元能源大范围优化配置的市场机制、低碳化综合能效（整体能效）优化调度交易理论与迭代调度控制模型、多元能源优化互补理论与电网协调机制、低碳化节能减排的风险与控制策略、低碳化电力调度的辅助服务补偿机制等，进行了详细的研究与设计，建立了低碳化电力节能减排在时间尺度、空间尺度、电力生产环节、优化目标、电网安全稳定控制策略、有功与无功控制对象、“三公”调度交易、多元能源优化互补、经济补偿机制、区域经济发展、电力市场、风险控制策略、电力可靠性、经济性、能源安全（能源约束）、环境安全（环境约束）、各类效益等 17 个方面的“多维时空型”优化调度交易协调模型、协调机制及决策平台。

本书可供能源、电力、环保、金融部门的规划、计划、调度、交易、营销、财务、金融、投资、监管人员阅读参考，也可作为高校和研究机构的能源、环保、金融、电气工程、电力系统、电力市场、系统工程、控制工程等专业的教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

面向低碳经济的电力调度交易理论与应用/尚金成等著. —
北京：中国电力出版社，2014.10

ISBN 978-7-5123-5636-8

I. ①面… II. ①尚… III. ①电力系统调度—研究
IV. ①TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 044051 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 10 月第一版 2014 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 26.75 印张 638 千字

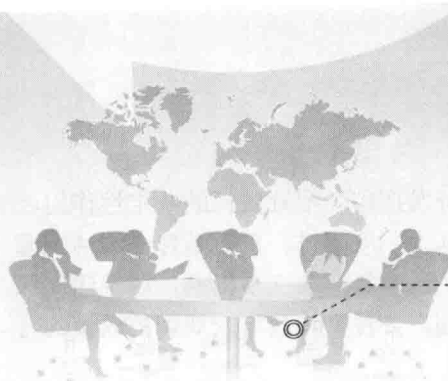
定价 79.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



序

以低能耗、低排放、低污染、高附加值为特征的低碳经济，在国外已经经历了多年的实践，目前正处在不断研究探索和完善之中。我国是发展中国家，正处于市场化改革的“进行时”阶段，正处于新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化的高速发展阶段，能源资源消耗在相当长一段时间内将持续上升。

发展低碳经济不仅有利于解决能源资源短缺、生态环境恶化、持续雾霾天气等问题，而且有利于培育新能源和节能环保等战略性新兴产业，培育新的竞争优势。“以可持续发展的方式促进经济增长，为人类提供普遍能源服务并保障能源安全”的要求决定了像我国这样的发展中国家，需要在能源供应（能源消耗）、环境容量（环境污染）和经济社会发展目标之间进行有效的协调与平衡。

从我国的能耗与排放结构上来看，电力行业是消耗煤炭和排放温室气体的主要行业之一，也将成为低碳化节能减排的主力军。当前，我国的能源领域正面临着保障能源安全、优化能源结构、提高能效水平、推进能源领域改革等任务，我国的电力行业正处于发展智能电网、优化电源结构、转变电网发展方式、转变能源发展方式的转型阶段，市场在资源配置中的决定性作用还没有完全形成，客观上决定了我国的低碳化电力节能减排不可能超越我国经济发展的“转型经济阶段”，必须立足于自身的特点，不能盲从于发达国家发展低碳经济的模式。

根据低碳化节能减排的国际经验及我国国情，推进低碳化电力节能减排的途径主要有四种：一是依靠制度或管理手段；二是进行技术创新及推广应用等；三是通过转变能源发展方式，提高清洁能源和可再生能源在能源消耗中的比例；四是进行产业结构调整。面向低碳经济的电力调度交易管理，是实现电力行业低碳化节能减排目标的重要手段之一。

综合低碳化电力节能减排的国外经验和我国多年来的探索，在社会主义市场经济体系中建立具有我国自己特点的低碳化电力节能减排机制，总体上需要把握以下几点：

一是加强能源领域改革的顶层设计和总体规划，加快构建有利于能源科学发展的体制机制；改变能源管理“碎片化”问题，健全与市场经济和低碳经济相适应的能源管理体制，建立多元能源资源优化互补与协调机制；改善能源发展环境，推进能源生产和消费革命，保障国家能源安全。

二是建立促进可持续发展的低碳化节能减排的政策机制，通过制定和实施法律、法规、标准、价格、财政、税收、金融等综合性政策，促进政府、企业、公众由被动转向主动的低碳化节能减排，实现低碳化节能减排具体目标的综合性制度安排。重点要建立起维护低碳化节能减排机制有序运作的法律法规体系和有序运作的组织体系，构建起反映市场供求关系、资源稀缺程度和环境损害成本的价格体系，逐步实现竞争性能源领域的市场定价，加大节能、可再生能源、低碳科技创新的财政支持力度。

三是建立低碳化节能减排的市场机制，通过竞争充分发挥市场配置资源的决定性作用，提高资源的配置效率，建立低碳化节能减排长效机制的基本制度安排。重点是建立清洁能源和可再生能源交易机制、排放（CO₂、SO₂、NO_x、烟尘、污水等）权交易机制，以及建立保障市场规范有序运转的信用评价、融资、风险防范等机制，并注重与政府宏观调控政策的有效协调。

四是建立低碳化节能减排的监管机制，建立与市场经济及低碳化节能减排相适应的监管体系。要尽快完善电力节能减排监管的法律法规和组织体系，建立集中统一、高效透明的节能减排监管体制。在监管方式上，由以往的经济性监管为主、社会性监管（环境、安全、质量、资源保护等外部性问题的社会性监管）为辅的监管模式，转向社会性监管、经济性监管并重的监管模式：完善价格监管，加强社会性监管，监管重心是提高能源综合利用效率，加强低碳化节能减排的监管，确保能源供应安全，保护生态环境等；加强市场秩序的监管，监管重心是反垄断、规范市场秩序，确保市场的公开、公平、公正，促进有效竞争。

五是建立低碳化节能减排的技术支撑体系，包括低碳化节能减排的技术创新及推广应用，以及低碳化节能减排交易的技术支持系统、能耗及排放监督监测技术支持系统、低碳化节能减排指标评价及考核的技术支持系统等。

六是实施电力行业全过程的低碳化节能减排。在发电环节，建立发电过程低碳化节能减排优化系统，实施合同能源管理机制，最大限度减少化石燃料的使用。在输配电环节，建设智能电网，提高清洁能源和可再生能源的输送与消纳能力，通过优化电网结构及潮流分布等手段，尽可能降低线损，优化跨区跨省资源配置，整体降低能耗和排放。在用电环节，加强需求侧管理，以市场信号科学引导用户合理用电，还应逐步通过市场价格抑制高能耗行业电力需求，高效实现电力需求侧管理。

七是加强“低碳”、“节能”、“环保”、“排放（CO₂、SO₂、NO_x、烟尘、污水等排放）”、“安全”、“经济（成本）”六大目标的协调控制，制定科学的低碳化节能减排规划与目标，加快开展大气污染、温室气体排放的协调控制，配套出台协调控制经济政策，提高低碳化节能减排的经济性。

八是建立低碳化电力节能减排在时间尺度、空间尺度、电力生产环节、优化目标、电网安全稳定控制策略、有功与无功控制对象、“三公”调度交易、多元能源优化互补、经济补偿机制、区域经济发展、电力市场、风险控制策略、电力可靠性、经济性、能源安全（能源约束）、环境安全（环境约束）、各类效益等十七个方面的“多维时空型”优化调度交易协调模型、协调机制及决策平台。

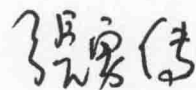
在该书中，作者对上述几点具有很好的把握，有关的研究探索、机制设计、模型与算法设计都建立在这些原则之上，有着总体上正确的方向。该书的理论体系完整、先进、创新性强。

该书第一作者尚金成、第三作者史连军长期工作在电力生产（电力调度、电力交易）第一线，主要从事竞争性电力市场理论及应用、电力系统优化调度理论及应用、节能减排发电调度（交易）的理论体系与技术支撑体系等方面的研究与管理工 作，既有扎实深厚的理论基础，又有比较丰富的实践经验和对电力生产科学管理、低碳化电力节能减排及其风险管理的深刻理解。该书的第二作者刘敦楠一直从事电力调度和电力市场交易的研究，在低碳化调度交易方面具有坚实的理论基础，并积累了丰富的研究经验。

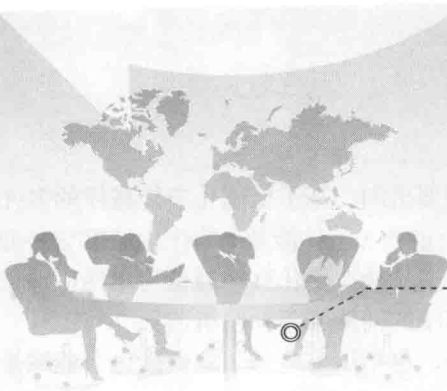
该书既具有理论上的突破，又具有很强的实用性和可操作性，是我国开展低碳化电力节能减排理论研究及应用的重要成果，并会对我国低碳化电力节能减排发挥重要作用，为能源、电力、环保、金融部门以及高校和研究机构的从事规划、计划、调度、交易、营销、财务、金融、投资、监管的相关人员提供了很有价值的参考。

值此机会向该书的作者表示真诚的祝贺，并期待他们取得新的成绩，为我国电力工业低碳化节能减排的发展做出更大的贡献。

中国工程院院士

Handwritten signature in black ink, reading '张夏利' (Zhang Xiaoli).

2014年8月



前言

全球气候问题已成为人类共同关注的课题，“低碳经济”开始成为新经济形态中十分重要的一个分支。所谓低碳经济，是指在可持续发展理念指导下，通过技术创新、制度创新、产业转型、新能源（清洁能源和可再生能源）开发等多种手段，尽可能地减少煤炭、石油等高碳能源消耗（节能降耗），减少 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 、烟尘、污水等的排放（减排），达到经济社会发展与生态环境保护双赢的一种经济发展形态。

建立政府监管下的符合中国国情的低碳化节能减排体系，是发展低碳经济的客观要求。如何广泛地借鉴吸收西方发达国家和一些发展中国家低碳化节能减排的经验，建立适合中国国情的低碳化节能减排体制机制，加强“低碳”、“节能”、“环保”、“排放（ CO_2 、 SO_2 、 NO_x 、烟尘、污水等排放）”、“安全”、“经济（成本）”六大目标的协调控制，加强电力可靠性与经济安全、能源安全、环境安全的有效协调，积极稳妥地推进我国的低碳化节能减排，亟待深入研究。

从我国的能耗与排放结构上来看，当前的能耗与排放主要来自于电力行业，电力行业势必将成为低碳化节能减排的主力军。面向低碳经济的电力调度交易（又称“低碳化电力调度交易”、“绿色电力调度交易”、“低碳化节能减排调度交易”、“低碳化综合能效调度交易”）管理，是实现电力行业低碳化节能减排目标的重要手段之一。

本书对面向低碳经济的电力调度交易理论与应用进行探讨，共分五篇 31 章。

第一篇是全书的基础和总纲，介绍了全球气候变化大环境下低碳化节能减排的重要意义，对电力调度交易理论发展与低碳化进行了分析，提出了面向低碳经济的电力调度交易（低碳化节能减排调度交易、低碳化综合能效调度交易）的理论体系架构和应用体系架构。

第二篇提出了面向低碳经济的电力调度交易理论（一）：各类低碳化调度交易的机制设计，包括：面向低碳经济的电力调度交易机制，基于差别电量的低碳化电力调度交易，基于发电权的低碳化电力调度交易，低碳化电力节能减排的市场机制。

第三篇对低碳化节能发电调度体系和关键技术进行了深入研究，提出了面向低碳经济的电力调度交易理论（二）：低碳化节能发电调度“多维时空型”优化协调理论，包括：低碳化节能发电调度“多维时空型”优化协调理论的整体架构与核心思路，兼顾市场机制与宏观调控的低碳化节能发电调度模式及运作机制，低碳化节能发电调度在时间尺度上的优化协调，低碳化节能发电调度在空间尺度上的优化协调，低碳化节能发电调度在多元能源上的优化协调，低碳化节能发电调度在调度运行、电力市场等方面的优化协调，低碳化节能发电调度的综合效益评估，低碳化节能发电调度的经济补偿机制，低碳化节能发电调度的风险与控制策略。

第四篇提出了面向低碳经济的电力调度交易理论（三）：电力工业低碳化节能减排的最优战略，包括：电力工业低碳化节能减排的最优战略总体架构、经济原理和经济激励机制、电价形成机制、效益评估模型与监管评价机制、五种市场机制（主要低碳化节能发电调度模式、温室气体排放权交易及清洁能源和可再生能源消纳机制、排污权市场交易机制、面向智

能电网的“时空型”低碳化电力调度交易协调模型与协调机制、基于低碳化节能减排的多元能源大范围优化配置的市场机制设计),基于低碳化综合能效(整体能效)的优化调度交易理论与迭代调度控制,基于低碳化节能减排及综合能效的多元能源优化互补理论与电网协调机制,低碳化节能减排的风险与控制策略,低碳化电力调度的辅助服务补偿机制。

第五篇介绍了面向低碳经济的电力调度交易的实践,包括国外电力工业低碳化节能减排主要运行模式和中国低碳化节能减排发电调度交易的实践。

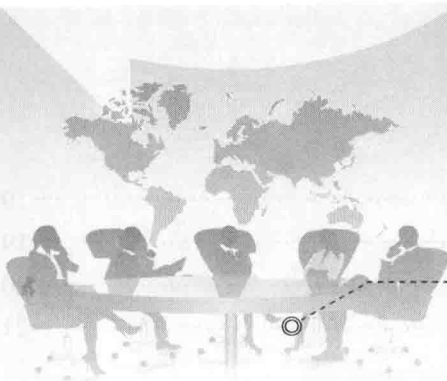
北京清大科越科技有限公司的郭少青总经理、湖南大学的黎灿兵副教授参加了本书编写的部分工作。

特别感谢中国工程院张勇传院士在百忙之中审阅了书稿,并提出了宝贵意见。本书在写作过程中,曾与有关专家进行了深入探讨,包括:国家能源局市场监管司黄少中司长,国务院发展研究中心王金照研究员,中国电力科学研究院白晓民副总工程师,清华大学夏清教授、康重庆教授,浙江大学文福拴教授,华北电力大学牛东晓院长、曾鸣教授、谭忠富教授、胡军峰教授,上海交通大学蒋传文教授,湖南大学姚建刚教授,国网能源研究院马莉所长,电力系统自动化杂志社顾晓荣博士,南瑞集团北京科东公司王文总经理,中国电力科学研究院电力自动化研究所杨争林所长等。另外,也参考了一些专家的观点,在此一并表示衷心感谢。

对于书中不当之处,敬请读者批评指正。

作者

2014年8月



目 录

序 前言

第一篇 面向低碳经济的电力调度交易理论的整体架构

第 1 章 全球气候变化、低碳经济与节能减排	3
1.1 温室效应与全球气候变化	3
1.2 雾霾天气与大气污染	3
1.2.1 雾霾天气与污染物排放	3
1.2.2 雾霾天气的控制措施	4
1.3 低碳经济、低碳能源与节能减排	5
1.3.1 低碳经济	5
1.3.2 低碳能源与低碳电力	6
1.3.3 低碳化电力节能减排	6
1.4 低碳化电力调度交易	7
1.4.1 低碳化节能发电调度	7
1.4.2 低碳化节能减排调度交易	8
1.4.3 低碳化综合能效(整体能效)调度交易	8
1.5 世界各国低碳行动	8
1.5.1 世界各国的低碳合作及存在的问题	8
1.5.2 中国节能减排和低碳经济相关政策	11
第 2 章 电力调度交易理论发展与低碳化节能减排分析	14
2.1 电力调度交易的主要阶段	14
2.1.1 基于传统经济调度理论的发电调度交易	14
2.1.2 基于“三公”调度的发电调度交易	15
2.1.3 基于“差别电量计划”的发电调度交易	15
2.1.4 低碳化节能发电调度交易	15
2.1.5 基于市场机制的电力调度交易	15
2.1.6 低碳化节能减排电力调度交易	16
2.1.7 低碳化综合能效(整体能效)电力调度交易	16
2.2 电力调度交易各阶段特点比较与低碳化节能减排分析	16

第3章 面向低碳经济的电力调度交易理论与应用架构	19
3.1 面向低碳经济的电力调度交易概述	19
3.2 面向低碳经济的电力调度交易的理论体系	20
3.3 面向低碳经济的电力调度交易的应用体系	21

第二篇 面向低碳经济的电力调度交易理论（一）： 各类低碳化调度交易的机制设计

第4章 面向低碳经济的电力调度交易机制	25
4.1 面向低碳经济的电力调度交易的背景与内涵	25
4.2 发电环节的“电—碳—硫—硝—烟”调度交易综合特性分析	26
4.2.1 电碳调度交易特性分析	26
4.2.2 电硫调度交易特性分析	28
4.2.3 电硝调度交易特性分析	28
4.2.4 电烟调度交易特性分析	28
4.2.5 “电—碳—硫—硝—烟”调度交易特性分析与能源结构调整	29
4.3 输配电环节的“电—碳—硫—硝—烟”调度交易综合特性分析	30
4.4 用电环节的“电—碳—硫—硝—烟”调度交易综合特性分析	31
4.4.1 需求侧管理	31
4.4.2 能效电厂	31
4.4.3 考虑能效电厂与需求侧管理的综合资源规划	32
4.5 低碳化电力调度交易的决策模型	32
4.5.1 低碳化电力调度交易目标分析	32
4.5.2 低碳化电力调度交易模型框架	33
4.5.3 低碳化电力调度交易的决策变量与目标函数	33
4.5.4 低碳化电力调度交易的约束条件	35
4.6 低碳化电力调度交易的多目标优化模型	37
4.6.1 电力调度交易的多重目标	37
4.6.2 多目标优化问题的一般求解方法	38
4.6.3 多目标优化问题的目标一致性评估	40
4.6.4 低碳、节能、减排目标的协调	42
第5章 基于差别电量的低碳化电力调度交易机制	43
5.1 差别电量的涵义	43
5.2 基于差别电量的低碳化节能减排分析	44
5.3 基于差别电量的小火电边际补偿分析	44
5.4 基于年度差别电量的电力调度交易模型	46
5.4.1 以“节能减排极大化”为目标的差别电量模型	46

5.4.2 兼顾节能减排和购电成本的差别电量模型	47
第6章 基于发电权的低碳化电力调度交易机制	50
6.1 发电权交易的背景	50
6.2 发电权交易的基本内涵	51
6.3 发电权交易的机理	52
6.3.1 实施发电权交易的原则和前提条件	52
6.3.2 发电权交易的模式及类型	53
6.3.3 发电权交易市场要素	53
6.3.4 发电权交易的结算	54
6.4 基于时间尺度的发电权交易	54
6.5 基于空间尺度的发电权交易	54
6.5.1 省内发电权交易	54
6.5.2 跨区跨省发电权交易	55
6.5.3 跨区跨省发电权交易的协调优化模式	56
6.6 发电权交易的效率分析	56
6.6.1 发电权交易的节能减排效果分析	56
6.6.2 发电权交易的各方经济效益分析	56
6.6.3 发电权交易的市场效率分析	57
6.6.4 发电权交易的市场风险分析	58
6.6.5 发电权交易的市场公平性分析	58
6.6.6 发电权交易的市场博弈行为分析	58
6.6.7 发电权交易结算价格的公平性分析	59
6.6.8 发电权交易的资源配置效率分析	59
6.7 发电权集中撮合交易的数学模型及算法设计	59
6.7.1 基于效用最优的模型之一	60
6.7.2 基于效用最优的模型之二	61
6.7.3 基于能耗最优的模型	62
6.7.4 基于效用和能耗最优的模型	62
6.7.5 基于能耗、污染排放、温室气体排放最优的模型	63
6.7.6 基于效用、能耗和污染排放最优的模型	63
6.7.7 基于成交发电权电量最大的模型	63
6.7.8 成交发电权电量最大、社会效用最优的模型	63
6.7.9 基于成交发电权电量最大、社会效用最优、能耗最小的模型	64
6.7.10 多目标综合优化模型	64
6.7.11 考虑碳排放的多目标综合优化模型	65
6.7.12 主要发电权交易模型的分析与比较	65
6.8 双边协商交易与集中撮合交易的协调	66
6.9 发电权交易在低碳化节能减排中的应用	66

6.9.1	发电权交易在“上大压小、关停小火电”中的应用	66
6.9.2	发电权交易在“以大代小”的替代发电中的应用	66
6.9.3	发电权交易在清洁能源与火电替代发电中的应用	66
6.9.4	发电权交易在水电机组替代水电机组发电中的应用	67
6.9.5	发电权交易在跨区跨省电力交易中的应用	67
6.9.6	发电权交易在低碳化节能发电调度经济补偿机制中的应用	68
6.9.7	发电权交易在用电权交易中的应用	68
6.9.8	发电权交易在排放权市场中的应用	68
6.9.9	发电权交易理论在受电网输电约束区域中的应用	69
6.10	基于低碳化节能减排的发电权交易	69
6.10.1	发电权交易和低碳化节能发电调度的协调	69
6.10.2	发电权交易的低碳化节能减排效益与经济效益的平衡	70
6.11	基于低碳化综合能效（整体能效）的发电权交易	73
6.12	发电权拆借交易及其风险分析	73
6.12.1	发电权拆借交易的涵义	73
6.12.2	发电权拆借交易的方式及价格形成机制	74
6.12.3	发电权拆借交易的时空尺度及交易目标	74
6.12.4	发电权拆借交易的实施原则及前提条件	74
6.12.5	发电权拆借交易的驱动力	74
6.12.6	发电权拆借交易与发电权转让交易的区别	75
6.12.7	发电权拆借交易的主要风险及控制策略	75
6.12.8	基于低碳化节能减排的发电权拆借交易	75
第7章	低碳化电力节能减排的市场机制	76
7.1	市场机制与节能减排	76
7.2	考虑部分市场机制的电力节能减排模式	77
7.2.1	促进节能减排的发电权交易机制	77
7.2.2	考虑市场机制的低碳化节能减排电力调度“组合拳”	77
7.2.3	考虑市场机制与机组经济运行的低碳化节能减排电力调度“组合拳”	78
7.2.4	低碳化节能发电调度模式及经济补偿机制	78
7.3	完全市场机制下的电力节能减排模式	79
7.3.1	基于能耗和污染物排放准入的节能减排市场机制	79
7.3.2	兼顾能耗与污染物排放准入和排污权市场交易的节能减排市场机制	79
7.3.3	考虑外部成本的集中竞价的节能减排市场机制	79
7.3.4	外部成本内部化的节能减排市场机制	80
7.3.5	完全市场环境低碳化节能减排调度交易模式	80
7.3.6	完全市场环境低碳化综合能效调度交易模式	81
7.4	促进节能减排的市场机制路径选择	82

第三篇 面向低碳经济的电力调度交易理论(二):

低碳化节能发电调度“多维时空型”优化协调理论

第8章 低碳化节能发电调度“多维时空型”优化协调理论的目标与核心思路	85
8.1 “多维时空型”优化协调理论的目标	85
8.2 “多维时空型”优化协调理论的核心思路	86
第9章 兼顾市场机制与政府宏观调控的低碳化节能发电调度模式及运作机制	88
9.1 市场机制与政府宏观调控	88
9.2 低碳化节能发电调度的主要思路	91
9.3 年度机组发电组合方案的制订	92
9.4 月度机组发电组合方案的制订	93
9.5 日前机组发电组合与安全校核	95
9.6 低碳化节能发电调度市场模式的实施流程	95
第10章 低碳化节能发电调度在时间尺度上的优化协调	98
10.1 基于时间尺度的低碳化节能发电调度协调模型的整体框架	98
10.2 低碳化节能发电调度的协调调度模型和算法	99
10.3 低碳化节能发电调度在不同时间尺度间的协调	100
10.3.1 月度低碳化节能发电调度与年度、季度低碳化节能发电调度的协调	100
10.3.2 日前低碳化节能发电调度与月度低碳化节能发电调度的协调	101
10.3.3 滚动低碳化节能发电调度与日前低碳化节能发电调度的协调	103
10.3.4 实时平衡低碳化节能发电调度与滚动低碳化节能发电调度的协调	104
10.3.5 偏差及电网阻塞在线校正控制与实时平衡低碳化节能发电调度的协调	105
10.3.6 各种时间尺度的优化调度模型的通用算法	107
10.4 低碳化节能发电调度模式下的电网适应性评估	107
第11章 低碳化节能发电调度在空间尺度上的优化协调	109
11.1 低碳化节能发电调度在空间尺度上的优化协调调度思路	109
11.1.1 优化协调调度的总体原则	109
11.1.2 优化协调调度的模型与方法	109
11.1.3 优化协调调度的过程	110
11.2 低碳化节能发电调度的“时空型”安全约束经济调度	112
11.2.1 “时空型”安全约束经济调度的协调模型 I	112
11.2.2 “时空型”安全约束经济调度的协调模型 II	113
11.2.3 “时空型”安全约束经济调度的协调模型 III	114
11.2.4 “时空型”安全约束经济调度的协调模型 IV	114
11.2.5 “时空型”安全约束经济调度的协调模型 V	115
11.2.6 “时空型”安全约束经济调度的协调模型 VI	116
11.2.7 各协调模型的分析	117

11.3 低碳化节能发电调度的“时空型”安全约束机组组合	117
11.3.1 低碳化节能发电调度的“时空型”多目标决策问题	117
11.3.2 基于电网状态识别的动态多目标机组组合	118
11.3.3 不同电网状态下的动态建模方法	119
11.4 基于等综合煤耗微增率的火电机组低碳化节能发电调度算法	120
11.4.1 火电机组综合煤耗微增率	120
11.4.2 出力分配的最优性条件与优化算法	121
第 12 章 低碳化节能发电调度在多元能源上的优化协调	125
12.1 低碳化节能发电调度在多元能源上的优化协调思路	125
12.1.1 各类型能源的特点	125
12.1.2 多元能源发电减排潜力分析	128
12.1.3 基于能源类型尺度的低碳化节能发电调度协调模型的整体框架	129
12.2 水火电联合节能调度的优化模型	131
12.2.1 水火电联合节能调度的运行方式优化	131
12.2.2 水火电节能优化调度模型和算法	133
12.2.3 水火电联合优化调度的分解协调算法	142
12.3 梯级水电站中长期优化运行的理论与方法	148
12.3.1 梯级水电站水力联系及长期优化运行的一般特性	148
12.3.2 梯级水电站中长期优化运行模型	149
12.3.3 梯级水电站随机余留效益动态规划法	149
12.3.4 基于 AR(P) 径流模型的长期优化理论及方法	160
12.3.5 余留效益函数的合理展开	163
12.3.6 样本空间的合理构造	165
12.3.7 样本空间的降维	166
12.4 梯级水电站短期优化运行的理论与方法	170
12.4.1 梯级水电站日优化调度目标	170
12.4.2 梯级水电站日优化运行模型和最优性条件	171
12.4.3 梯级水电站日优化运行的离散形式的最优性条件	174
12.4.4 梯级水电站日优化运行的实用最优性条件	175
12.4.5 梯级水电站日优化运行计划的实用迭代搜索算法	178
12.4.6 梯级水电站日优化运行计划的实用迭代搜索算法主要思路	179
12.5 抽水蓄能并网调度的优化运行方式	180
12.5.1 抽水蓄能优化运行方式分析	180
12.5.2 抽水蓄能优化调度模型	182
第 13 章 低碳化节能发电调度在调度运行、电力市场等方面的优化协调	187
13.1 节能发电优化调度与各类优化目标的协调	187
13.2 节能发电优化调度与电力生产各环节的协调	187

13.3	节能发电优化调度与电网安全稳定控制策略的协调	188
13.4	节能发电优化调度与有功/无功控制的协调	189
13.5	节能发电优化调度与“三公”调度的协调	190
13.6	节能发电优化调度与安全校核和阻塞管理的协调	190
13.7	节能发电优化调度与区域经济发展的协调	196
13.8	节能发电优化调度与电力市场的协调	196
13.8.1	节能发电调度与电力市场建设相衔接的模型	196
13.8.2	节能发电调度与电力市场相衔接模型的有效性分析	197
第14章	低碳化节能发电调度的综合效益评估	199
14.1	低碳化节能发电调度的低碳效益评估	199
14.2	电力全产业链低碳、节能、环保效益评估	200
14.2.1	一次能源环节的低碳、节能、环保效益指标的定义及测算方法	200
14.2.2	发电环节的低碳、节能、环保效益指标的定义及测算方法	201
14.2.3	输配电环节的低碳、节能、环保效益指标的定义及测算方法	202
14.2.4	用电环节的低碳、节能、环保效益指标的定义及测算方法	203
14.3	考虑低碳、节能、环保与经济的综合效益评价模型	204
第15章	低碳化节能发电调度的经济补偿机制	205
15.1	低碳化节能发电调度需要妥善解决的经济补偿问题	205
15.2	低碳化节能发电调度经济补偿机制的一般设计原则	206
15.3	低碳化节能发电调度的基本补偿模式	208
15.3.1	基本补偿模式I: 低限标准补偿的市场机制	208
15.3.2	基本补偿模式II: 低限标准补偿的行政机制	208
15.3.3	基本补偿模式III: 两部制电价或容量补偿	209
15.3.4	基本补偿模式IV: 发电权转让交易补偿	209
15.3.5	基本补偿模式V: 辅助服务补偿	210
15.3.6	基本补偿模式VI: 电价附加补偿	210
15.4	低碳化节能发电调度经济补偿的行政手段	211
15.4.1	行政手段的经济补偿机制之一	211
15.4.2	行政手段的经济补偿机制之二	212
15.4.3	行政手段的经济补偿机制之三	213
15.4.4	行政手段的经济补偿机制之四	213
15.4.5	各类行政手段的经济补偿机制的比较	213
15.5	低碳化节能发电调度经济补偿的市场机制	214
15.5.1	市场机制的经济补偿机制之一	215
15.5.2	市场机制的经济补偿机制之二	215
15.5.3	市场机制的经济补偿机制之三	215
15.5.4	市场机制的经济补偿机制之四	216

15.5.5 市场机制的经济补偿机制之五	216
15.5.6 市场机制的经济补偿机制之六	216
15.6 各种补偿模式比较分析	217
15.7 经济补偿市场机制的数学模型及算法	220
15.7.1 基本利用小时数或基本电量的确定	220
15.7.2 以效用最优、成交量最大为目标的经济补偿市场机制数学模型及算法	221
15.7.3 低碳化节能发电调度的结算	224
15.8 适应低碳化节能发电调度的机组上网电价形成机制设计	224
15.8.1 问题的提出	224
15.8.2 适应低碳化节能发电调度的两部制上网电价形成机制设计	225
第 16 章 低碳化节能发电调度的风险与控制策略	228
16.1 风险的涵义及特征	228
16.2 低碳化节能发电调度的风险分析	229
16.3 低碳化节能发电调度的风险控制策略	231

第四篇 面向低碳经济的电力调度交易理论 (三): 电力工业低碳化节能减排的最优战略

第 17 章 电力工业低碳化节能减排的最优战略总体架构	235
17.1 电力工业全产业链的低碳化节能减排架构	235
17.1.1 发电环节的低碳化节能减排	235
17.1.2 输配电环节的低碳化节能减排	236
17.1.3 用电环节的低碳化节能减排	237
17.2 电力工业低碳化节能减排的最优战略架构	238
第 18 章 电力工业低碳化节能减排的经济原理和经济激励机制	239
18.1 电力工业低碳化节能减排的理论基础	239
18.1.1 环境价值相关理论	239
18.1.2 环境问题与“双失灵”	239
18.1.3 环境外部成本内部化的相关理论	240
18.1.4 电力工业低碳化节能减排的环境市场机制	240
18.1.5 电力工业低碳化节能减排的市场运行机制框架	240
18.2 电力工业低碳化节能减排的经济原理	241
18.3 电力市场的失灵与干预政策	243
18.3.1 纠正市场失灵的强制手段和经济手段	243
18.3.2 选择行政手段和市场机制的标准	245
18.3.3 电力工业低碳化节能减排的政策与手段	245
18.4 电力工业低碳化节能减排的行政手段	245
18.4.1 电力工业低碳化节能减排的直接管制	245

18.4.2	电力工业低碳化节能减排的间接管制	246
18.4.3	直接管制与间接管制的比较研究	247
18.5	电力工业低碳化节能减排的市场手段	247
18.5.1	“利用市场”的经济手段 1: 绿色税收政策	247
18.5.2	“利用市场”的经济手段 2: 绿色电价机制	249
18.5.3	“利用市场”的经济手段 3: 补贴和基金制度	249
18.5.4	“创建市场”的经济手段 4: 排污权交易市场	250
18.5.5	基于信息公开和道德舆论的激励机制	251
第 19 章	电力工业低碳化节能减排的电价形成机制	252
19.1	我国目前的低碳化节能减排电价政策	252
19.2	当前电价形成机制及其存在的问题	253
19.2.1	国内外电价机制与电力市场改革	253
19.2.2	当前电价机制的主要问题分析	253
19.3	面向电力工业低碳化节能减排的电价机制设计	254
19.3.1	电力工业低碳化节能减排与电价形成机制	254
19.3.2	电力工业低碳化节能减排的电价形成机制设计原则	255
19.3.3	电力工业低碳化节能减排的上网电价形成机制设计	255
19.3.4	电力工业低碳化节能减排的输配电价形成机制设计	258
19.3.5	电力工业低碳化节能减排的销售电价形成机制设计	259
第 20 章	电力工业低碳化节能减排的效益评估模型与监管评价机制	261
20.1	电力市场监管框架	261
20.2	低碳化调度交易监管机制	261
20.3	低碳化调度交易监管评价机制	262
20.4	电力工业低碳化节能减排的效益评估模型与方法	264
20.4.1	电力全产业链低碳化节能减排效益评估方法	264
20.4.2	低碳化节能减排效益分析流程	265
20.4.3	各类排放因子的定义和测算方法	266
20.4.4	低碳化节能减排效益评价指标体系的构建	267
20.5	低碳化调度交易信息发布机制	269
20.5.1	低碳化电力调度交易信息发布理论体系	269
20.5.2	低碳化调度交易信息发布常态机制	269
第 21 章	电力工业低碳化节能减排市场机制之一: 主要低碳化节能发电调度模式	271
21.1	低碳化节能发电调度模式及运作机制的一般设计原则	271
21.2	模式 1: 行政手段下的低碳化节能发电调度模式	271
21.3	模式 2: 能耗分省排序、跨省跨区竞争的低碳化节能发电调度模式	272
21.4	模式 3: 低碳化节能发电调度的组合模式	273
21.5	模式 4: 兼顾市场机制的低碳化节能发电调度模式之一	274